

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΜΦΑΤΝΩΣΗΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ Ο.Σ. ΚΑΤΑ ΚΑΝ. ΕΠΕ. ΜΕΣΩ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

**ΠΟΛΥΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ
ΤΣΙΤΣΟΚΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία μελετά τις μεθόδους εμφάντωσης πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος, όπως περιγράφονται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων. Ειδικότερα, εξετάζονται η μέθοδος προσθήκης απλού γεμίματος με άοπλη τοιχοποιία και η μέθοδος τοιχοματοποίησης, με εφαρμογή τους σε επίπεδα πλαίσια και με χρήση των προσομοιωμάτων τοιχοπληρώσεων που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η σύγκριση γίνεται με τα κριτήρια επιπρόσθετης αντοχής και δυσκαμψίας των ενισχυμένων φορέων, όπως προκύπτουν από τις εξαγόμενες καμπύλες ικανότητας, σε όρους τέμνουσας βάσης - μετατόπισης κορυφής. Επιπλέον διερευνάται ο ρόλος των τοιχοπληρώσεων στην απόκριση των κατασκευών, με εστίαση σε κατασκευές τύπου pilotis, ενώ παράλληλα παρουσιάζεται η μεθοδολογία εκτέλεσης ανελαστικών αναλύσεων βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. Οι αναλύσεις εκτελούνται με χρήση των προγραμμάτων SAP2000 v.15 και BIAX.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανεπάρκεια μεγάλου μέρους των υφιστάμενων κατασκευών στην Ελλάδα έναντι σεισμικών καταπονήσεων μέτριας έως υψηλής έντασης συνθέτει ένα από τα βασικότερα προβλήματα που χρήζουν της άμεσης προσοχής στο πεδίο των ενισχύσεων κατασκευών [9]. Η σχετικά πρόσφατη ενσωμάτωση σύγχρονων αντισεισμικών αντιλήψεων στο πεδίο του σχεδιασμού και της κατασκευής νέων δομικών έργων μέσω αναθεώρησης των παλαιών δομικών κανονισμών (Αντισεισμικός Κανονισμός 1985 - 1995 - 2000) καθιστά αναγκαία την οργάνωση και συστηματοποίηση της αντισεισμικής ενίσχυσης, που απαιτείται για μεγάλο αριθμό κατασκευών (ιδιαίτερος για κατασκευές πριν το 1985) [11].

Η μέθοδος εμφάντωσης πλαισίων οπλισμένου σκυροδέματος εντάσσεται στα πλαίσια του Κανονισμού Επεμβάσεων σαν μέθοδος καθολικής ενίσχυσης μιας κατασκευής, με σκοπό τη μείωση της έντασης στα αδύναμα στοιχεία της σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια αντοχής τους. Η μέθοδος συνίσταται στην πλήρωση επιλεγμένων φατνωμάτων πλαισίων είτε με τοιχώματα, είτε με ράβδους δικτύωσης, είτε με προσθήκη απλού γεμίματος από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία (άοπλη ή οπλισμένη), με στόχο την αύξηση της δυσκαμψίας και της σεισμικής αντίστασης του φορέα, εξαλείφοντας την ανάγκη ενίσχυσης των υπολοίπων αδύναμων στοιχείων του [2].

Συγχρόνως, ο ρόλος των τοιχοπληρώσεων στη σεισμική απόκριση των κατασκευών αποτελεί επίσης ένα σημαντικό κεφάλαιο διερεύνησης στο πεδίο των ενισχύσεων. Στην πλειονότητά τους, οι παλιές κατασκευές χαρακτηρίζονται από σχετικά αδύναμο σκελετό που όμως ενισχύεται σημαντικά σε συνεργασία με την υφιστάμενη τοιχοποιία, η οποία προσδίδει στο φορέα ένα σημαντικό ποσοστό δυσκαμψίας και υπεραντοχής. Ωστόσο η συμπεριφορά αυτή της τοιχοποιίας δρα σε πολλές περιπτώσεις δυσμενώς στην απόκριση της κατασκευής, δημιουργώντας σημεία αδυναμίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σχηματισμός μηχανισμού μαλακού ορόφου, λόγω ασύμμετρης κατανομής των τοιχοπληρώσεων καθ' ύψος της κατασκευής (πχ. σε κτήρια με ανοικτό ισόγειο τύπου pilotis). Ομοίως, δυσμενή δράση των τοιχοπληρώσεων συνιστά και ο σχηματισμός "κοντών υποστυλωμάτων" σε κατασκευές, δηλαδή περιπτώσεις υποστυλωμάτων στα οποία αναπτύσσεται σημαντική διατμητική ένταση σε μικρό τμήμα του μήκους τους, λόγω τερματισμού της τοιχοπλήρωσης σε χαμηλό ύψος σχετικά με το ύψος του υποστυλώματος (πχ. για κατασκευή φεγγίτη). Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προτείνει δύο τρόπους προσομοίωσης των τοιχοπληρώσεων, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η

συνεισφορά τους (ευμενής ή δυσμενής) κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό των κατασκευών, αναλόγως και της στοχευόμενης στάθμης επιτελεστικότητας.

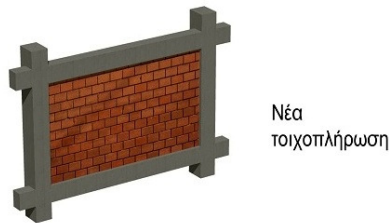
Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια σύγκρισης των μεθόδων πλήρωσης φατνωμάτων πλαισίων με απλό γέμισμα από τοιχοποιία και με κατασκευή νέου τοιχώματος, όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 8.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.[1] μέσω ανελαστικών στατικών αναλύσεων, με κριτήριο την επιπρόσθετη δυσκαμψία και αντοχή που προσδίδουν στο φορέα και με βάση τις σχετικές διατάξεις και υποδείξεις του Κανονισμού Επεμβάσεων.

2. ΕΜΦΑΤΝΩΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η πλήρωση επιλεγμένων φατνωμάτων πλαισίων με τοιχώματα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της δυσκαμψίας και της σεισμικής αντίστασης του φορέα. Τα τοιχώματα μπορεί να είναι είτε απλά γεμίσματα (από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία) χωρίς ιδιαίτερη σύνδεση στη διεπιφάνεια γεμίματος - φατνώματος, είτε από έγχυτο ή εκτοξευόμενο οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο συνδέεται επαρκώς με το περιβάλλον φάτνωμα μεταβάλλοντάς το σε τοίχωμα (τοιχωματοποίηση φατνώματος).

Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται έλεγχος των επιπτώσεων των εισαγόμενων εντατικών μεγεθών στο σύνολο των συντρεχόντων δομικών στοιχείων καθώς και στις καθιζήσεις και στα στοιχεία θεμελίωσης του υφιστάμενου φορέα. Επιπλέον, κατά την ανάλυση του νέου φορέα, ο οποίος δημιουργείται μετά την εμφάνωση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η στροφή θεμελίου υπό ιδιαιτέρως έκκεντρη θλίψη καθώς και η μειωμένη ενεργός δυσκαμψία του τοιχώματος εξαιτίας της σχετικά μικρής αξονικής δύναμης που καταπονεί το τοίχωμα. Για το λόγο αυτό πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την ασφαλή θεμελίωσή τους.

2.1. ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΠΛΟΥ ΓΕΜΙΣΜΑΤΟΣ



Σχήμα 1: Απλό γέμισμα με τοιχοπλήρωση [10]

Η πλήρωση φατνωμάτων πλαισίων γίνεται είτε με τοιχώματα από άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα (επί τόπου κατασκευαζόμενα ή προκατασκευασμένα), είτε με τοιχοποιία (άοπλη ή οπλισμένη). Η προσθήκη απλού γεμίματος αφορά την περίπτωση που δεν υπάρχει ειδικότερη σύνδεση στη διεπιφάνεια γεμίματος – φατνώματος. Δεν απαιτούνται ειδικά μέτρα σύνδεσης στις κατακόρυφες επιφάνειες επαφής του γεμίματος με τα υποστυλώματα ενώ είναι δυνατό να μην υπάρξει επαφή μεταξύ τους ώστε να αποφευχθεί η μεταβίβαση δυνάμεων από το γέμισμα στα εκατέρωθεν υποστυλώματα. Ειδικά για την περίπτωση γεμίματος από σκυρόδεμα συνίσταται η χρήση βλήτρων – αγκυρίων στις οριζόντιες επιφάνειες επαφής του γεμίματος με το πλαίσιο. Τα φατνώματα που επιλέγονται να πληρωθούν δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται σε ενιαία κατακόρυφη σειρά. Απαιτείται έλεγχος των επιπτώσεων των εισαγόμενων εντατικών μεγεθών στο σύνολο των συντρεχόντων δομικών στοιχείων ενώ πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα κατασκευαστικά μέτρα για την εξασφάλιση της λειτουργίας του μηχανισμού τριβής μεταξύ γεμίματος και πλαισιώματος στο άνω και κάτω μέρος. Ένα πολυώροφο πλαίσιο, στο οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος της προσθήκης απλού γεμίματος, διαθέτει χαμηλή πλαστιμότητα, εξαιτίας της συμπεριφοράς του ως διατεμνόμενου πολυώροφου προβόλου.

2.2. ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η τοιχωματοποίηση φατνωμάτων πλαισίων με οπλισμένο σκυρόδεμα αφορά την περίπτωση που εξασφαλίζεται η σύνδεση του εμφαντούμενου τοιχώματος με το περιβάλλον πλαίσιο προκειμένου να διασφαλιστεί η καθ' ύψος καμπτική συνέχεια του νέου πολυώροφου τοιχώματος. Για το λόγο αυτό το φάτνωμα επιμηκύνεται κατά την οριζόντια διεύθυνση προκειμένου να περιβάλλει τα εκατέρωθεν υποστυλώματα υπό μορφή κλειστών μανδυνών, μέσα στους οποίους τοποθετείται ο διαμήκης οπλισμός έναντι κάμψης καθώς και η αναγκαία περίσφιγξη για την εξασφάλιση της σκοπούμενης πλαστιμότητας. Συνίσταται η κατασκευή του νέου τοιχώματος καθ' όλο το ύψος του δομήματος ώστε η κατανομή της δυσκαμψίας να είναι ομοιόμορφη (αποφυγή δημιουργίας μαλακού ορόφου).

Η ασκούμενη στο φάτνωμα τέμνουσα δύναμη μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση (8.27)):

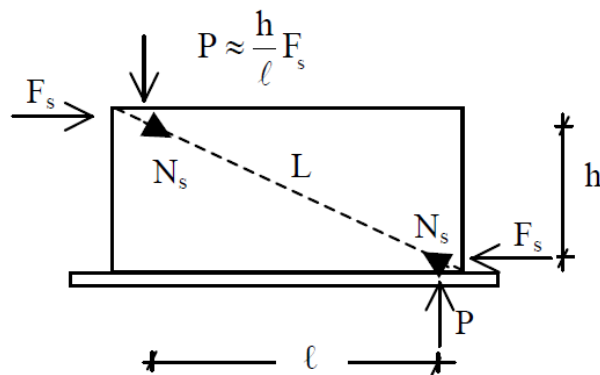
$$F_s = V_s - \frac{2V_{Rc}}{\gamma_{sd}} \quad (1)$$

όπου V_s είναι η συνολική τέμνουσα του εμφαντούμενου πλαισίου (του νέου τοιχώματος που προκύπτει μετά την εμφάντωση), V_{Rc} είναι η διατμητική αντοχή κάθε υποστυλώματος εκατέρωθεν του φατνώματος όπως αυτή υπολογίζεται κατόπιν της ενίσχυσής τους με μανδύες και γ_{sd} είναι συντελεστής αβεβαιότητας προσομοιώματος δράσης, με τιμή 1.30.

Επιπλέον στα άκρα του φατνώματος ασκούνται κατακόρυφες δυνάμεις εξαιτίας της παραμόρφωσης του πλαισίου λόγω σεισμού. Οι δυνάμεις αυτές υπολογίζονται προσεγγιστικά από την παρακάτω σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ.Σχ. Σ8.7):

$$P \approx \frac{h}{l} F_s \quad (2)$$

όπου h και l είναι το ύψος και το μήκος του φατνώματος αντίστοιχα.



Σχήμα 2: (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σχ. Σ8.7): Τέμνουσα Φατνώματος [1]

Θεωρείται ότι ένα μέρος της τέμνουσας φατνώματος F_s και των κατακόρυφων δυνάμεων P , το οποίο ισούται με (Σχήμα 2):

$$N_s = \frac{l}{L} F_s \quad (3)$$

όπου L το μήκος της διαγωνίου του φατνώματος, αναλαμβάνεται από το διαγώνιο θλιπτήρα.

Η αντοχή του διαγωνίου θλιπτήρα εκτιμάται ως η απομένουσα αντίσταση μετά την κρίσιμη παραμόρφωση του $\epsilon_{co} = 2 * 10^{-3}$ και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξίσωση Σ8.15):

$$N_R = \lambda * f'_c * t_w * b_w \quad (4)$$

όπου λ είναι συντελεστής απομένουσας απόκρισης του διαγώνιου θλιπτήρα μετά την υπέρβαση της κρίσιμης παραμόρφωσής του, με τιμή 0.4, f_c' είναι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος υπό εγκάρσιο εφελκυσμό, ίση με $0.6 * f_c$, t_w είναι το πάχος του φατνώματος και b_w είναι το ενεργό πλάτος του διαγώνιου θλιπτήρα που λαμβάνεται περίπου ίσο με $0.15 * L$ σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην §7.4.(ζ.2) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Το υπόλοιπο μέρος της διατμητικής έντασης θεωρείται ότι αναλαμβάνεται από βλήτρα διατασσόμενα κατά την περίμετρο του φατνώματος. Συγκεκριμένα οι δυνάμεις που καλούνται να παραλάβουν τα βλήτρα κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση υπολογίζονται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξισώσεις Σ8.16 - Σ8.17):

$$F_{\beta\lambda,οριζ.} = F_s - \frac{l}{r} N_R \quad (5)$$

$$F_{\beta\lambda,κατ.} = \frac{h}{l} F_{\beta\lambda,οριζ.} \quad (6)$$

Επομένως ο απαιτούμενος αριθμός βλήτρων στις δύο διευθύνσεις υπολογίζεται ώστε να ικανοποιούνται οι παρακάτω σχέσεις (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σ§8.5.3.1.β(ii)):

$$F_{\beta\lambda,οριζ.} \geq \frac{1}{2} n_\beta * F_{ud} \quad (7)$$

$$F_{\beta\lambda,κατ.} \geq \frac{1}{2} n_v * F_{ud}$$

(8)

όπου n_β και n_v είναι ο αριθμός των βλήτρων κατά μήκος της δοκού και κάθε υποστυλώματος αντίστοιχα.

Η αντοχή βλήτρου, συνεκτιμώντας την επιρροή της ανακύκλησης της φόρτισης, υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ εξίσωση (6.9)):

$$F_{ud} = 0.65 d_b^2 \sqrt{f_{cd} * f_{yd}} \leq \frac{A_s * f_{yd}}{\sqrt{3}} [\text{mm}, \text{MPa}] \quad (9)$$

όπου d_b είναι η διάμετρος της βλήτρου, A_s είναι η διατομή της βλήτρου, f_{yd} είναι η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του βλήτρου και f_{cd} είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής αντοχής του ασθενέστερου σκυροδέματος (ΚΑΝ.ΕΠΕ §6.1.2.2). Ως ελάχιστη ποσότητα βλήτρων, ο κανονισμός ορίζει τα 3Φ16 ανά μέτρο της περιμέτρου.

Τα υποστυλώματα του πλαισίου τα οποία περιβάλλονται με μανδύα λαμβάνονται πλήρως υπόψη στην ανάλυση των νέων (μετά την επέμβαση) εντατικών καταστάσεων του προκύπτοντος τοιχώματος. Για το λόγο αυτό πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος της διεπιφάνειας υποστυλώματος – μανδύα. Η κατακόρυφη διατμητική δύναμη στη διεπιφάνεια υποστυλώματος – μανδύα, μπορεί να εκτιμηθεί από την παρακάτω σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σ8.18):

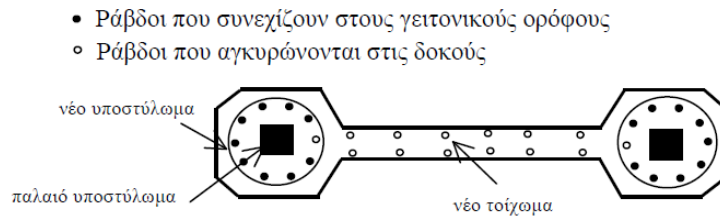
$$F_{\delta\epsilon\pi.} \leq \frac{A_{c,μπ.} * f_{c,μπ.}}{A_{cx} * f_{c,μανδ.}} \left(\frac{M'}{z} + \frac{N'}{2} \right) \quad (10)$$

όπου $A_{c,μπ.}$ και $f_{c,μπ.}$ είναι η διατομή και η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του αρχικού υποστυλώματος, A_{cx} και $f_{c,μανδ.}$ είναι η θλιβόμενη διατομή και η θλιπτική αντοχή σκυροδέματος του μανδύα, M' και N' είναι η ροπή και η αξονική δύναμη που ασκούνται στο τοίχωμα μετά την επέμβαση και z είναι ο καμπτικός μοχλοβραχίονας της διατομής του τοιχώματος κατά την έννοια του μήκους του.

2.2.1 ΕΜΦΑΤΝΩΣΕΙΣ ΠΑΧΟΥΣ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟΥ Ή ΙΣΟΥ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΔΟΚΟΥ

Εφαρμόζονται οι διατάξεις των ΕΚ 2 και ΕΚ 8-1 για την όπλιση του κορμού και των ακραίων περιοχών του νέου τοιχώματος. Οι οριζόντιοι οπλισμοί του κορμού αγκυρώνονται εντός των κλειστών μανδυών των εκατέρωθεν υποστυλωμάτων ενώ οι κατακόρυφοι οπλισμοί αγκυρώνονται στην άνω και κάτω δοκό του φατνώματος.

Μόνο τα νέα σύνθετα υποστυλώματα στα άκρα συμβάλλουν στην πλαστιμότητα του νέου στοιχείου. Η διαθέσιμη πλαστιμότητα εξαρτάται από το βαθμό κατά τον οποίο έγιναν σεβαστές οι διατάξεις του ΕΚ 8-1 (§5.4.3.4.) για τα μονολιθικά αντισεισμικά τοιχώματα.



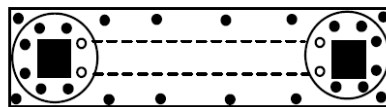
Σχήμα 3: (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σχ. Σ8.6): Ενδεικτική εμφάντωση με πάχος ίσο ή μικρότερο του πλάτους της δοκού [1]

2.2.2 ΕΜΦΑΤΝΩΣΕΙΣ ΠΑΧΟΥΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΔΟΚΟΥ

Η επιλογή πάχους τοιχώματος μεγαλύτερου του πλάτους της δοκού του εμφανιζόμενου πλαισίου επιτρέπει τη διαμέσου των πλαισίων δίοδο των κατακόρυφων οπλισμών του κορμού του τοιχώματος καθώς και τη διάταξη των βλήτρων σύνδεσης κατά την οριζόντια διεύθυνση, κάθετα προς τις κατακόρυφες παρειές των δοκών.

Η όπλιση του νέου τοιχώματος γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις των ΕΚ 2 και ΕΚ 8-1, όπως στην περίπτωση των εμφατνώσεων πάχους μικρότερου ή ίσου του πλάτους της δοκού. Η τοπική πλαστιμότητα μπορεί να φθάσει το 50% των τιμών που ισχύουν για μονολιθικά τοιχώματα τα οποία σχεδιάζονται σύμφωνα με τον ΕΚ 8-1.

- Ράβδοι που συνεχίζουν στους γειτονικούς ορόφους
- Ράβδοι που αγκυρώνονται στις δοκούς



Σχήμα 4: (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σχ. Σ8.8): Ενδεικτική εμφάντωση με πάχος μεγαλύτερο από το πλάτος της δοκού [1]

3. ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΚΑΝ. ΕΠΕ.

Ο Κανονισμός Επεμβάσεων εντάσσει την ανελαστική στατική ανάλυση στις προτεινόμενες μεθόδους ανάλυσης για τις ανάγκες αποτίμησης και ανασχεδιασμού των κατασκευών, περιγράφοντας τις βασικές προϋποθέσεις και παραδοχές στις οποίες βασίζεται (ΚΑΝ. ΕΠΕ. §5.7). Οι αναλύσεις που αφορούν την παρούσα εργασία ακολουθούν κατά το δυνατό τις διατάξεις αυτές, που αναφέρονται παρακάτω με συντομία [1],[11].

Κύριος στόχος της ανελαστικής στατικής ανάλυσης είναι η εκτίμηση του μεγέθους των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν το κτήριο υπόκειται στη σεισμική δράση για την οποία γίνεται η αποτίμηση ή ο ανασχεδιασμός (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.1.1).

Βασική απαίτηση εφαρμογής της μεθόδου αποτελεί η άμεση συνεκτίμηση στο προσομοίωμα των μη γραμμικών χαρακτηριστικών του νόμου δύναμης - παραμόρφωσης των δομικών στοιχείων. Το προσομοίωμα υποβάλλεται σε οριζόντια φορτία κατά τρόπο ανάλογο προς τις αδρανειακές δυνάμεις του σεισμού, τα οποία αυξάνονται μονότονα μέχρις ότου κάποιο δομικό στοιχείο δεν είναι πλέον σε θέση να φέρει τα κατακόρυφα φορτία του. Από την ανάλυση προκύπτει η καμπύλη αντίστασης του κτηρίου, η οποία χαράσσεται εν γένει σε όρους τέμνουσας βάσης - μετακίνησης χαρακτηριστικού σημείου, το οποίο εν γένει επιλέγεται στην κορυφή του κτηρίου (κόμβος ελέγχου). Η καμπύλη αυτή αποτελεί τη βάση για όλους τους απαιτούμενους ελέγχους ικανοποίησης των κριτηρίων επιτελεστικότητας. Ο έλεγχος αυτός γίνεται για μετακίνηση του κόμβου ελέγχου ίση με τη στοχευόμενη μετακίνηση δ_t , που αντιστοιχεί στη σεισμική δράση αποτίμησης ή ανασχεδιασμού.

Τονίζεται ότι η αξιοπιστία της μεθόδου εξασφαλίζεται όταν εφαρμόζεται για κτήρια στα οποία η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν είναι σημαντική. Ο ΚΑΝ. ΕΠΕ. ωστόσο επιτρέπει την εφαρμογή της και σε κτήρια με σημαντική επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών εφόσον η ανάλυση συνοδεύεται και από συμπληρωματική δυναμική ελαστική ανάλυση (ΚΑΝ. ΕΠΕ. §5.7.2). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών δεν ήταν κατά βάση σημαντική και δεν γίνεται ο έλεγχος που καθορίζει ο ΚΑΝ. ΕΠΕ.

Στην ανάλυση συμπεριλαμβάνονται εν γένει τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής, συνδυαζόμενα με τα οριζόντια φορτία κατά το συνδυασμό του ΕΚ 8-1. Τα οριζόντια φορτία εφαρμόζονται σε δύο διευθύνσεις ("θετική" - "αρνητική") και ο έλεγχος γίνεται για τα δυσμενέστερα εντατικά μεγέθη. Ο κόμβος ελέγχου της στοχευόμενης μετακίνησης λαμβάνεται εν γένει στο κέντρο μάζας της οροφής του κτηρίου.

Τα οριζόντια φορτία εφαρμόζονται στη στάθμη κάθε διαφράγματος (πλάκα ορόφου), σύμφωνα με την κατανομή των αδρανειακών δυνάμεων του σεισμού. Για κάθε ανάλυση απαιτείται η εφαρμογή δύο τουλάχιστον διαφορετικών καθ' ύψος κατανομών φορτίων, ώστε να λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή του τρόπου κατανομής των φορτίων λόγω μεταελαστικής συμπεριφοράς ορισμένων περιοχών του φορέα, αλλά και λόγω της επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών. Συνίσταται η "ομοιόμορφη" κατανομή φορτίων, βασισμένη σε οριζόντια φορτία ανάλογα προς τη μάζα κάθε ορόφου ανεξαρτήτως στάθμης, και η "ιδιομορφική" κατανομή, ανάλογη προς οριζόντια φορτία συμβατά προς την κατανομή οριζοντίων φορτίων στην υπό εξέταση διεύθυνση, όπως προκύπτει από ελαστική ιδιομορφική ανάλυση (ΚΑΝ. ΕΠΕ, §5.7.3.3).

Η μη γραμμική σχέση τέμνουσας βάσης - μετακίνησης κόμβου ελέγχου αντικαθίσταται από εξιδανικευμένη καμπύλη για τον υπολογισμό της ισοδύναμης πλευρικής δυσκαμψίας K_e και της αντίστοιχης δύναμης διαρροής V_y του κτηρίου. Ο προσδιορισμός της καμπύλης αυτής περιγράφεται αναλυτικά στο σχόλιο της §5.7.3.4 του ΚΑΝ. ΕΠΕ. Υπολογίζεται ακολούθως η ισοδύναμη κυριαρχούσα ιδιοπερίοδος στη θεωρούμενη διεύθυνση (ΚΑΝ. ΕΠΕ. §5.7.3.5).

Για κτήρια με απαραμόρφωτα διαφράγματα σε κάθε στάθμη ορόφου, στοχευόμενη μετακίνηση υπολογίζεται σύμφωνα με την §5.7.4.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., συνεκτιμώντας κατάλληλα όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τη μετακίνηση ενός ανελαστικά αποκρινόμενου κτηρίου. Ειδικότερα, υπολογίζεται βάσει της σχέσης (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σ5.6), η οποία παρατίθεται ενδεικτικά παρακάτω:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 \left(\frac{T_g^2}{4\pi^2} \right) S_e(T) \quad (11)$$

Στη σχέση αυτή $S_e(T)$ είναι η ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση (από το φάσμα του Ευρωκώδικα ΕΚ 8-1) που αντιστοιχεί στην ισοδύναμη ιδιοπερίοδο της κατασκευής T_e , όπως υπολογίζεται ανωτέρω και C_0, C_1, C_2 , και C_3 διορθωτικοί συντελεστές που ορίζονται

αναλυτικά στα σχόλια της §5.7.4.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και αποτελούν συνάρτηση διαφόρων μεγεθών, όπως ενδεικτικά ο αριθμός ορόφων του κτηρίου και η στάθμη επιτελεστικότητας για την οποία εκτελείται η ανάλυση.

Τα εντατικά μεγέθη και οι παραμορφώσεις που υπολογίζονται από την ανάλυση κατά τη στιγμή που η μετακίνηση του κόμβου ελέγχου ισούται με δ_t ελέγχονται σύμφωνα με τα κριτήρια του Κεφαλαίου 9 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

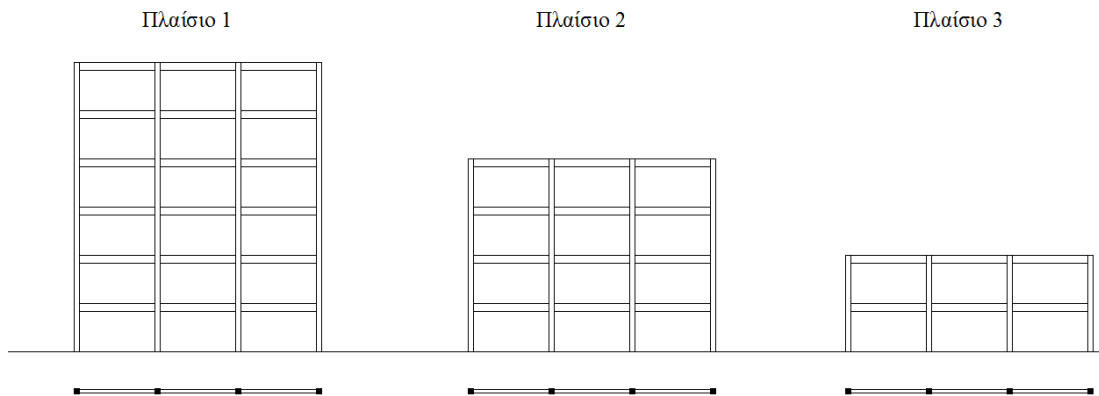
4. ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της εργασίας είναι η σύγκριση και διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των μεθόδων εμφάντωσης "απλού γεμίματος" με τοιχοποιία και "τοιχοματοποίησης", όπως προτείνονται από τον ΚΑΝ. ΕΠΕ., δίνοντας έμφαση στη διερεύνηση των αλλαγών που επιφέρει η κάθε μέθοδος στο φορέα σε επίπεδο αντοχής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητας. Για τους σκοπούς της διερεύνησης αυτής πραγματοποιείται, με τη χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων, ανελαστική στατική ανάλυση σε τρία όμοια επίπεδα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος δύο, τεσσάρων και έξι ορόφων πριν και μετά την εφαρμογή κάθε μεθόδου εμφάντωσης. Επιπλέον, εξετάζεται και η περίπτωση απουσίας τοιχοπληρώσεων στον κατώτατο όροφο, για την προσομοίωση κτηρίων τύπου pilotis. Κάθε πλαίσιο υποβάλλεται σε ανελαστική στατική ανάλυση (Pushover) με χρήση του προγράμματος Sap2000 v15 σύμφωνα με τις διατάξεις του Κεφαλαίου 5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και συγκρίνονται οι καμπύλες απόκρισης της κατασκευής σε όρους τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής.

5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΕΩΝ

Οι αναλύσεις πραγματοποιούνται σε τρία επίπεδα πλαίσια οπλισμένου σκυροδέματος, τριών ανοιγμάτων, δύο, τεσσάρων και έξι ορόφων. Οι διαστάσεις και ο οπλισμός των πλαισίων προέρχονται από τον φέροντα οργανισμό ενός τυπικού διώροφου κτηρίου, κατασκευασμένου το 1975. Για τα πλαίσια τεσσάρων και έξι ορόφων γίνεται κατάλληλη προσαρμογή του διαμήκους οπλισμού των υποστυλωμάτων του διώροφου πλαισίου. Ακολούθως, περιγράφονται αναλυτικά οι φορείς που προσομοιώνονται και αναλύονται.

5.1 ΠΛΑΙΣΙΑ ΧΩΡΙΣ ΓΕΜΙΣΜΑ



Σχήμα 5: Πλαίσια προς ανάλυση

Στο Σχήμα 5 παρατίθενται τα πλαίσια που αναλύονται. Το καθαρό μήκος των ανοιγμάτων είναι κοινό και ίσο με 5.0 m, το ύψος ορόφου είναι ίσο με 3.20 m, ενώ το πάχος της θεωρούμενης πλάκας του αρχικού κτηρίου είναι ίσο με 15 cm. Όλες οι δοκοί έχουν κοινή γεωμετρία και οπλισμό. Η διατομή τους θεωρείται για απλούστευση ορθογωνική και όχι σαν πλακοδοκός. Το σκυροδέμα είναι τύπου C16/20, με μέτρο ελαστικότητας $E = 28.6 \text{ GPa}$ και ο

χάλυβας οπλισμού (διαμήκους και συνδετήρων) είναι τύπου S400 (με νευρώσεις) με μέτρο ελαστικότητας $E = 200 \text{ GPa}$. Σημειώνεται ότι για τους υπολογισμούς των πλαστικών αρθρώσεων θεωρήθηκαν οι μέσες αντοχές των στοιχείων, δηλαδή $f_{cm} = (16 + 8) = 24 \text{ MPa}$ για το σκυρόδεμα και συντηρητικά $f_{ym} = f_{yk} = 400 \text{ MPa}$ για τον χάλυβα. Η καθαρή επικάλυψη σκυροδέματος θεωρείται ίση με 1 cm . Οι διαστάσεις και οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων και των δοκών για κάθε πλαίσιο συγκεντρώνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Διαστάσεις Διατομών και Λεπτομέρειες Οπλισμού

Πλαίσιο Π1				
Στοιχείο	Όροφος	Διαστάσεις (cm x cm)	Διαμήκης Οπλισμός	Εγκάρσιος Οπλ.
Υποστώλωμα	1ος - 2ος	35x35	4Φ22	Φ8/200 (mm)
	3ος - 4ος	35x35	4Φ20	Φ8/200
	5ος - 6ος	35x35	4Φ18	Φ8/200
Δοκός		20x50	5Φ14 πάνω (στήριξη) 2Φ14 κάτω	Φ8/300
Πλαίσιο Π2				
Στοιχείο	Όροφος	Διαστάσεις (cm x cm)	Διαμήκης Οπλισμός	Εγκάρσιος Οπλ.
Υποστώλωμα	1ος - 2ος	35x35	4Φ20	Φ8/200
	3ος - 4ος	35x35	4Φ18	Φ8/200
Δοκός		20x50	5Φ14 πάνω (στήριξη) 2Φ14 κάτω	Φ8/300
Πλαίσιο Π3				
Στοιχείο	Όροφος	Διαστάσεις (cm x cm)	Διαμήκης Οπλισμός	Εγκάρσιος Οπλ.
Υποστώλωμα	1ος - 2ος	35x35	4Φ18	Φ8/200
Δοκός		20x50	5Φ14 πάνω (στήριξη) 2Φ14 κάτω	Φ8/300

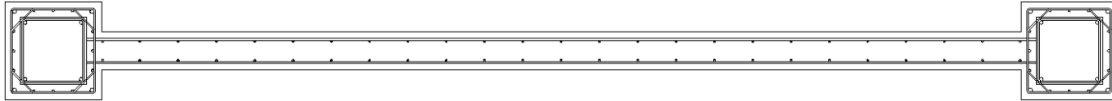
5.2 ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΑΠΛΟ ΓΕΜΙΣΜΑ ΜΕ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Η επίδραση του απλού γεμίματος με τοιχοποιία εξετάζεται με ανάλυση των πλαισίων που περιγράφονται παραπάνω για την περίπτωση πλήρωσης των ανοιγμάτων με συμπαγείς τοιχοπληρώσεις. Σαφέστερα, γίνεται ανάλυση για την περίπτωση πλήρωσης όλων των ανοιγμάτων καθώς και για την περίπτωση πλήρωσης όλων, πλην των ανοιγμάτων του ισόγειου (κτήριο Pilotis). Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε διπλός (μπατικός) τοίχος συνολικού πάχους 0.19 m και βάρους 3.16 kN/m^2 επιφάνειας.

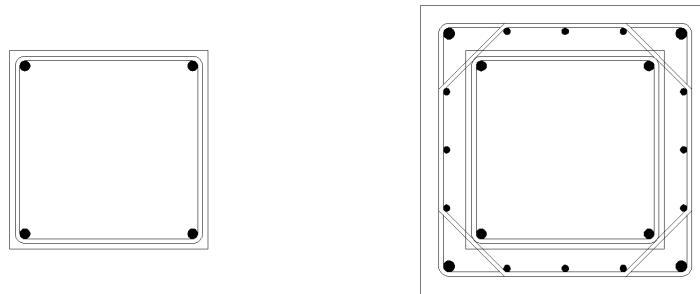
Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις διατάξεις του ΕΚ 6. Η χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας κατά την κατακόρυφη διεύθυνση υπολογίζεται από τη σχέση ($\Sigma 18$), §7.4.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ίση με $f_{wc,s} = 1.65 \text{ MPa}$, με θεώρηση αντοχής λιθοσώματος $f_{bc} = 2.7 \text{ MPa}$ και αντοχής κονιάματος $f_{mc} = 8 \text{ MPa}$. Το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας θεωρήθηκε ίσο με $E = 1000 f_{wc} = 1650 \text{ MPa}$. Η τιμή της αντοχής $f_{wc,s}$ που λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς είναι $f_{wc,s,red} = 1.172 \text{ MPa}$, απομειωμένη σύμφωνα με το διάγραμμα των Σχολίων της (§7.4.1.ε ΚΑΝ.ΕΠΕ.), λόγω της υψηλής λυγηρότητας της τοιχοπλήρωσης ($\lambda = 29.9$, $\lambda' = 19.33$ και $F_{red}/F = 0.71$), χρησιμοποιώντας την καμπύλη που αναφέρεται σε επιμελημένη περιμετρική σφίνωση στο πλαίσιο.

5.3 ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ ΕΜΦΑΤΝΟΥΜΕΝΟ ΤΟΙΧΩΜΑ

Θεωρήθηκε κατασκευή τοιχώματος στο μεσαίο άνοιγμα των πλαισίων που περιγράφονται παραπάνω ομοιόμορφα καθ' όλο το ύψος. Εξετάζονται δύο περιπτώσεις τοιχωμάτων, με πάχος ίσο με το πάχος της δοκού, δηλαδή $t_1 = 0.20$ m, και με πάχος μεγαλύτερο της δοκού, το οποίο επιλέγεται ίσο με $t_2 = 0.35$ m. Τα πλαίσια αναλύονται με προσθήκη τοιχώματος χωρίς ύπαρξη τοιχοπληρώσεων καθώς και με προσθήκη τοιχώματος με συνυπολογισμό των τοιχοπληρώσεων στα υπόλοιπα ανοίγματα πλην αυτών του ισογείου (κτήριο Pilotis). Η τελευταία μόρφωση του πλαισίου γίνεται στα πλαίσια της διερεύνησης της αποτελεσματικότητας της μεθόδου της τοιχωματοποίησης σε κτήρια με ασύμμετρη κατανομή δυσκαμψίας καθ ύψος, όπως τα κτήρια τύπου Pilotis.



Σχήμα 6: Διατομή εμφανιζόμενου τοιχώματος πάχους $t_1 = 0.20$ m



Σχήμα 7: Διατομή Υποστύλωματος πριν και μετά την ενίσχυση με μανδύα

Η τελική διατομή του εμφανιζόμενου τοιχώματος φαίνεται στο Σχήμα 6. Τα εκατέρωθεν υποστύλωματα ενισχύονται με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος πάχους 8 cm, στους οποίους τοποθετείται διαμήκης οπλισμός, με συνολική επιφάνεια που να ικανοποιεί την απαίτηση ελάχιστου οπλισμού $A_{s,min} = 1\% A_{c,final}$ και κατανομή του στις πλευρές με τον περιορισμό $A_{s,min,πλ} = 0.4\% A_{c,final}$, χωρίς να ληφθεί υπόψη για τους περιορισμούς αυτούς ο υφιστάμενος οπλισμός του υποστύλωματος. Τοποθετούνται 4Φ20 στις γωνίες και 3Φ12 επιπλέον σε κάθε πλευρά (Σχήμα 7). Η περίσφιγξη του μανδύα γίνεται με δύο εφραπτόμενους συνδετήρες (ορθογωνικός και οκταγωνικός) Φ8/100, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7. Ο κορμός του τοιχώματος και για τις δύο περιπτώσεις πάχους οπλίζεται με τον ελάχιστο οπλισμό, κατακόρυφο και οριζόντιο, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΕΚ 2 και ΕΚ 8, δηλαδή 2Φ10/200 (εσχάρα Φ10/200 σε κάθε πλευρά). Χρησιμοποιείται σκυρόδεμα C25/30, με μέτρο ελαστικότητας $E = 30$ GPa και χάλυβας B500C με μέτρο ελαστικότητας $E = 200$ GPa. Η νέα καθαρή ονομαστική επικάλυψη του σκυροδέματος είναι ίση με 3.5 cm.

Συνοπτικά, για κάθε πλαίσιο του Σχήματος 5 πραγματοποιούνται 7 ανελαστικές αναλύσεις:

- Πλαίσιο χωρίς γέμισμα
- Πλαίσιο με απλό γέμισμα τοιχοποιίας σε κάθε άνοιγμα
- Πλαίσιο με απλό γέμισμα τοιχοποιίας σε κάθε άνοιγμα πλην των ανοιγμάτων του κατώτατου ορόφου (Pilotis)
- Πλαίσιο με τοίχωμα πάχους 0.20 m στο μεσαίο άνοιγμα
- Πλαίσιο με τοίχωμα πάχους 0.20 m στο μεσαίο άνοιγμα και τοιχοπληρώσεις στα υπόλοιπα πλην αυτών του κατώτατου ορόφου
- Πλαίσιο με τοίχωμα πάχους 0.35 m στο μεσαίο άνοιγμα

- Πλαίσιο με τοίχωμα πάχους 0.35 m στο μεσαίο άνοιγμα και τοιχοπληρώσεις στα υπόλοιπα πλιν αυτών του κατώτατου ορόφου

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιούνται με το πρόγραμμα Sap2000 v.15, σε συνδυασμό με το πρόγραμμα BIAx, ένα πρόγραμμα γενικής χρήσης για την ανάλυση διατομών οπλισμένου σκυροδέματος σε διαξονική κάμψη με ορθή δύναμη το οποίο αναπτύχθηκε από τον Επίκουρο Καθηγητή του τμήματός μας κ. Μ. Σφακιανάκη. [6],[7] Η ανάλυση διατομής με το πρόγραμμα αυτό αφορά την περίπτωση όπου είναι γνωστή η γεωμετρία της, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών της, καθώς και η ποσότητα αλλά και η γεωμετρική κατανομή των οπλισμών της. Σημειώνεται επίσης ότι το πρόγραμμα αυτό δύναται να εκτελεί ανάλυση διατομής και σε περιπτώσεις διατομών ενισχυμένων με μανδύα σκυροδέματος. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, το πρόγραμμα BIAx χρησιμοποιείται για την ανάλυση όλων των διατομών δοκών και υποστυλωμάτων, με μανδύα και χωρίς, και την εξαγωγή των ποσοστών μειωμένης δυσκαμψίας των στοιχείων καθώς και των ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων για τις ανάγκες τις Pushover ανάλυσης, σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ., τις οποίες διαθέτει ενσωματωμένες.

6.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Τα υποστυλώματα και οι δοκοί των πλαισίων προσομοιώνονται στο πρόγραμμα Sap2000 με χρήση γραμμικών στοιχείων (*Frame Elements*), στα οποία αντιστοιχίζονται οι κατάλληλες διατομές και υλικά, όπως περιγράφονται παραπάνω.

Οι τοιχοπληρώσεις προσομοιώνονται επίσης με χρήση γραμμικών στοιχείων κατά το μοντέλο της ισοδύναμης αμφιαρθρωτής θλιβόμενης διαγώνιας ράβδου που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§7.4.1.ζ.2). Η διατομή αυτή της θλιβόμενης διαγώνιου λαμβάνεται σαν ορθογωνική διαστάσεων $b \times t$, με πλάτος $b = 0.15L = 0.852$ m και πάχος $t = 0.19$ m (ίσο με το πάχος της θεωρούμενης τοιχοπλήρωσης) και σχεδιάζεται έτσι ώστε κατά τη διεύθυνση εφαρμογής των φορτίων της ανελαστικής ανάλυσης να καταπονούνται σε θλίψη. Επιπλέον, ορίζονται αρθρώσεις στα άκρα του διαγώνιου θλιπτήρα, ώστε αυτός να μην παραλαμβάνει καμπτική ροπή (*Releases*).

Τα εμφανιζόμενα τοιχώματα προσομοιώνονται με χρήση επιφανειακών στοιχείων τύπου κελύφους (*Shell Elements*). Σε κάθε τέτοιο στοιχείο ορίζονται ιδιότητες διατομής με διαστρωμάτωση υλικών με μη γραμμική συμπεριφορά, κατά την έννοια του πάχους του στοιχείου. Με αυτήν την επιλογή καθίσταται δυνατό να προσομοιωθεί ο εγκάρσιος και διαμήκης οπλισμός του στοιχείου σε μορφή ισοδύναμης ενιαίας στρώσης υλικού, η οποία τοποθετείται σε οποιαδήποτε απόσταση από τη θεωρούμενη επιφάνεια αναφοράς (μέση εδώ) του κελύφους. Το πάχος κάθε στρώσης προκύπτει αναλογικά με το γεωμετρικό ποσοστό οπλισμού που προσομοιώνεται. Συγκεκριμένα, για τον ελάχιστο οπλισμό που τοποθετείται σε κάθε περίπτωση τοιχώματος (2Φ10/200) στην παρούσα εργασία, όπως περιγράφεται παραπάνω, ορίζεται πάχος στρώσης ίσο με $t = 0.000393$ m. Ανάλογα με τον προσανατολισμό του οπλισμού που προσομοιώνεται, ορίζεται και η γωνία του υλικού (0 για τον οριζόντιο οπλισμό και 90 για τον κατακόρυφο) ενώ στις ιδιότητες του υλικού ορίζεται μη γραμμικότητα για το σκυρόδεμα σε κάθε διεύθυνση και ομοίως για τις στρώσεις του οπλισμού αλλά μόνο κατά την αξονική τους διεύθυνση. [3],[8]

6.2 ΦΟΡΤΙΑ

Τα φορτία που θεωρήθηκαν στις αναλύσεις περιλαμβάνουν τα ίδια βάρη των στοιχείων του πλαισίου καθώς και τα φορτία που μεταφέρονται στη δοκό από τη θεωρούμενη παράπλευρη πλάκα σκυροδέματος. Το ίδιο βάρος των στοιχείων του πλαισίου υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα, βάσει του ειδικού βάρους των υλικών και των διαστάσεων των στοιχείων,

όπως ορίζονται από το χρήστη. Τα φορτία που παραλαμβάνει η δοκός λόγω της πλάκας υπολογίζονται με τη μέθοδο των επιφανειών επιρροής.

Για τις ανάγκες των αναλύσεών μας, θεωρήθηκε ίδιο βάρος της πλάκας (πάχους $d = 0.15$ m) ίσο με 3.75 kN/m^2 , φορτίο επικάλυψης 1.5 kN/m^2 και ωφέλιμο φορτίο 2 kN/m^2 . Κάθε δοκός θεωρείται ότι συνδέεται με τετράγωνη τετραέριστη πλάκα στη μία μόνο πλευρά της και επομένως παραλαμβάνει το 1/4 των φορτίων αυτής, το οποίο θεωρείται για απλούστευση σαν ομοιόμορφα κατανομημένο κατά μήκος της δοκού. Συνεπώς προκύπτει μόνιμο φορτίο $G = 6.56 \text{ kN/m}$ για δοκό χωρίς τοίχο ή $G = 16.28 \text{ kN/m}$ για δοκό με τοίχο και ωφέλιμο $Q = 2.5 \text{ kN/m}$ για όλες τις δοκούς των πλαισίων.

6.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Οι βάσεις όλων των υποστυλωμάτων θεωρούνται πακτωμένες στο έδαφος, δεν γίνεται δηλαδή ακριβέστερη προσομοίωση της αλληλεπίδρασης εδάφους - θεμελίωσης - ανωδομής. Τα άκρα όλων των μελών (δοκών και υποστυλωμάτων) στα σημεία συνάντησης (κόμβοι) θεωρούνται πλήρως απαραμόρφωτα (*End Length Offsets*). Θεωρούνται δηλαδή οι κόμβοι δοκών υποστυλωμάτων επαρκείς και η επίδρασή τους δεν εξετάζεται στην παρούσα εργασία. Επιπλέον, όλοι οι κόμβοι του προσομοιώματος που αντιστοιχούν στην ίδια στάθμη αντιστοιχίζονται σε κοινό διάφραγμα (διαφορετικό για κάθε στάθμη) προκειμένου να προσομοιωθεί η διαφραγματική λειτουργία των πλακών. Η μάζα της κατασκευής θεωρείται ότι προέρχεται από τη μάζα των στοιχείων της καθώς και από το συνδυασμό των φορτίσεων $G + 0.3Q$.

6.4 ΘΕΩΡΗΣΗ ΜΕΙΩΜΕΝΩΝ ΔΥΣΚΑΜΨΙΩΝ

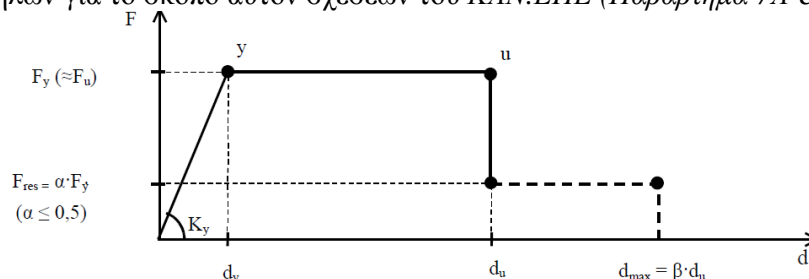
Για τους σκοπούς της σεισμικής αποτίμησης μιας κατασκευής η Pushover ανάλυση πρέπει να γίνεται με μειωμένες τιμές δυσκαμψιών EI των στοιχείων, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ρηγματώση των στοιχείων κατά την ανελαστική τους απόκριση. Στην παρούσα εργασία, όπως προαναφέρεται, γίνεται χρήση του προγράμματος BIAX [4]. Με το πρόγραμμα αυτό εξάγονται, για κάθε διατομή, οι τιμές της ενεργού δυσκαμψίας $K = EI$ του αντίστοιχου στοιχείου συναρτήσει της αξονικής δύναμης που αυτό παραλαμβάνει. Οι τιμές εξάγονται σε μορφή ποσοστού της αντίστοιχης ελαστικής δυσκαμψίας του στοιχείου και υπολογίζονται από το πρόγραμμα βάσει της Σχέσης (2) της §7.2.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σημειώνεται ότι το πρόγραμμα BIAX δύναται να παρέχει πίνακες με τις τελικές δυσκαμψίες των στοιχείων είτε με βάση τα υπολογιζόμενα από τους αλγορίθμους του μεγέθους διαρροής και αστοχίας είτε με χρήση τιμών βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. Στην παρούσα ανάλυση επιλέγεται η πρώτη δυνατότητα για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας. Εξάλλου παρατηρήθηκε ότι οι παραπάνω τιμές δεν εμφανίζουν σημαντική διαφορά.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, διεξάγεται προκαταρκτική ελαστική ανάλυση των φορέων με το Sap2000 με τιμές της ενεργού δυσκαμψίας των στοιχείων να έχουν οριστεί ως το 25% των αντίστοιχων ελαστικών και της δυστρεψίας ως το 10% των αντίστοιχων ελαστικών, ώστε να υπολογιστούν οι αξονικές δυνάμεις που παραλαμβάνουν τα στοιχεία. Εν συνεχεία, με βάση τις τιμές αυτές των αξονικών δυνάμεων επιλέγονται από τους αντίστοιχους πίνακες αποτελεσμάτων του BIAX οι τελικές τιμές της ενεργού δυσκαμψίας των στοιχείων και ανατίθενται εκ νέου στα στοιχεία στο πρόγραμμα Sap2000.

6.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ

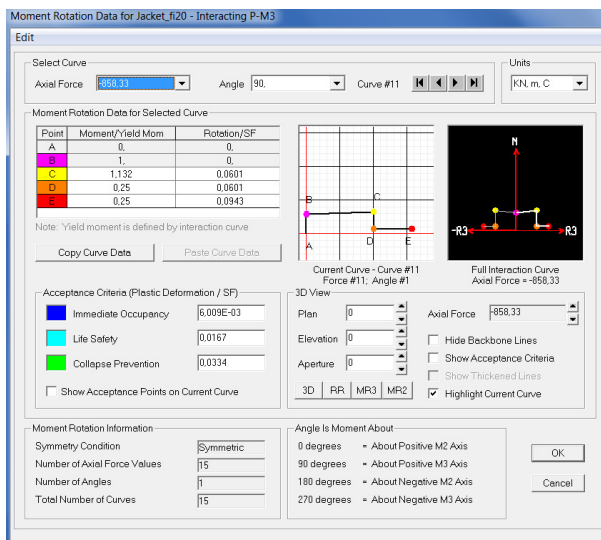
Η προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς των στοιχείων για τις ανάγκες της ανάλυσης Pushover γίνεται με εφαρμογή της μεθόδου της συγκεντρωμένης πλαστικότητας, δηλαδή με θεώρηση σημειακών πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των στοιχείων. Στην παρούσα εργασία, όπως αναφέρεται παραπάνω, γίνεται χρήση του υπολογιστικού προγράμματος BIAX για την εξαγωγή των ιδιοτήτων των πλαστικών αρθρώσεων στα άκρα των μελών, το

οποίο εκτελεί τους απαραίτητους υπολογισμούς για κάθε άκρο διατομής μέλους με χρήση των κατάλληλων για το σκοπό αυτόν σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ (Παράρτημα 7Α & 7Β).



Σχήμα 8: (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Παράρτημα 4.4) Σκελετικό Διάγραμμα Συμπεριφοράς [1]

Ειδικότερα, κατά το Παράρτημα 4.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. οι ιδιότητες των πλαστικών αρθρώσεων ενός γραμμικού μέλους οπλισμένου σκυροδέματος περιγράφονται με αναφορά στο ιδεατό-σκελετικό διάγραμμα ανελαστικής συμπεριφοράς του Σχήματος 8. Προκειμένου για κάμψη ορίζεται $F \equiv M$ και $d \equiv \Phi$ ή θ . Ως καταλληλότερα μεγέθη στην παρούσα περίπτωση επιλέγονται η καμπτική ροπή M και η γωνία στροφής χορδής θ . Στην πραγματικότητα, βάσει σύστασης του ΚΑΝ.ΕΠΕ., όταν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η κάμψη, καταλληλότερα είναι τα μεγέθη $M - \Phi$ (ροπή - καμπυλότητα). Όταν καθοριστική της ανελαστικής συμπεριφοράς είναι η διάτμηση, καταλληλότερα είναι τα μεγέθη $V - \gamma$ (τέμνουσα δύναμη - γωνιακή παραμόρφωση). Επειδή όμως στα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος οι καμπτικές παραμορφώσεις συνυπάρχουν με τις διατμητικές και με τις στροφές των ακραίων διατομών λόγω εξόλκευσης των οπλισμών από τα σημεία αγκύρωσης πέρα από τα άκρα των διατομών, καταλληλότερα μεγέθη F και d για την προσομοίωση των πλαστικών αρθρώσεων κρίνονται τα μεγέθη $M - \theta$, όπου θ περιλαμβάνει το σύνολο των καμπτικών και διατμητικών παραμορφώσεων, καθώς και τις στροφές των διατομών λόγω εξόλκευσης του οπλισμού. [1][8]

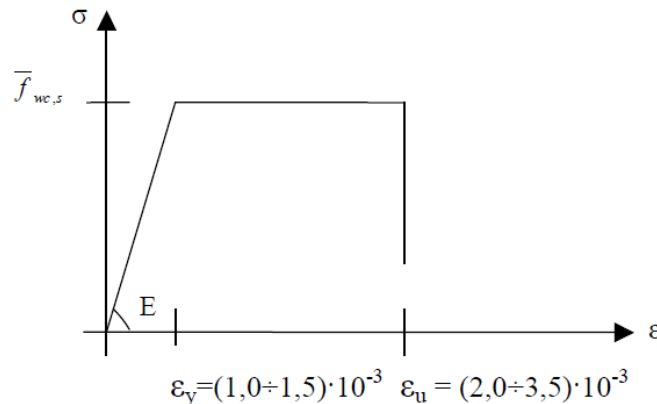


Σχήμα 9: Ορισμός Πλαστικής Άρθρωσης τύπου P - M3 στο SAP2000

Έτσι, το εν λόγω διάγραμμα που αναπαριστά την ανελαστική συμπεριφορά της άρθρωσης περιγράφεται σε όρους ροπών-γωνιών στροφής χορδής, $M-\theta$, επιλογή που δίνεται και στο πρόγραμμα ΒΙΑΧ. Επομένως, για τη διατομή του άκρου κάθε γραμμικού μέλους θα πρέπει να παραχθούν οι συντεταγμένες των σημείων (M_y, θ_y) , (M_u, θ_u) , (M_{res}, θ_u) και $(M_{res}, \theta_{u,max})$ θεωρώντας τη διγραμμικού ελαστοπλαστικού τύπου σχέση $M-\theta$ του Σχήματος 8.

Ορισμένα λογισμικά, όπως το SAP2000, διατυπώνουν το μή-γραμμικό νόμο με αναφορά στο πλαστικό τμήμα των θ ή Φ , δηλ. τα θ_{pl} και Φ_{pl} αντίστοιχα, όπου $\theta_{pl} = \theta_u - \theta_y$ και $\Phi_{pl} = \Phi_u - \Phi_y$. Έτσι, το γράφημα του εν λόγω νόμου λαμβάνει τη μορφή του Σχήματος 9, στο οποίο σημειώνονται οι στάθμες επιτελεστικότητας IO (Immediate Occupancy – Άμεση χρήση), LS (Life Safety – Προστασία ζωής) και CP (Collapse Prevention – Οιονεί κατάρρευση), οι οποίες προκύπτουν με βάση τις σχέσεις του Κεφ. 9 του ΚΑΝ.ΕΠΕ και εξάγονται ομοίως από το πρόγραμμα BIAX για κάθε περίπτωση διατομής. [5]

Για τα στοιχεία δοκού θεωρήθηκε πλαστική άρθρωση τύπου Moment M3 ενώ για τα στοιχεία υποστυλωμάτων θεωρήθηκε πλαστική άρθρωση τύπου P - M3, με αλληλεπίδραση δηλαδή κάμψης και αξονικής δύναμης (Σχήμα 9). Για τους διαγώνιους θλιπτήρες που προσομοιώνουν το γέμισμα με τοιχοποιία ορίζεται πλαστική άρθρωση τύπου Axial P, στην οποία εισάγεται το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Σχήμα 10), όπου θεωρείται $\epsilon_u = 3.5 \times 10^{-3}$. Για την πλαστική άρθρωση της δοκού εισάγονται οι τιμές του σκελετικού διαγράμματος M-θ, ενώ για την πλαστική άρθρωση του υποστυλώματος εισάγονται οι ίδιες τιμές M-θ για πολλές στάθμες αξονικού φορτίου P, καθώς και η επιφάνεια αλληλεπίδρασης P-M3. Τόσο οι τιμές των σημείων που ορίζουν το διάγραμμα συμπεριφοράς όσο και τα όρια αποδοχής κάθε στάθμης επιτελεστικότητας υπολογίζονται για κάθε διατομή από το πρόγραμμα BIAX με βάση τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και εισάγονται στις αντίστοιχες φόρμες του προγράμματος Sap2000. Σημειώνεται ότι στα στοιχεία δοκών και υποστυλωμάτων οι πλαστικές αρθρώσεις τοποθετούνται στα άκρα των στοιχείων ενώ στα στοιχεία των θλιπτήρων θεωρείται μια πλαστική άρθρωση στο μέσο του μήκους τους, όπου η καταπόνηση είναι μέγιστη.



Σχήμα 10: Διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων ισοδύναμης θλιβόμενης διαγώνιας ράβδου άοπλης τοιχοπλήρωσης (ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σχόλια §7.4.1.ζ.2)[1]

6.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΒΗΜΑΤΑ

Συνοπτικά η διαδικασία της ανελαστικής ανάλυσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα [5]:

- Εισαγωγή γεωμετρίας, διατομών και υλικών προσομοιώματος στο SAP2000
- Ορισμός φορτίων, συνοριακών συνθηκών
- Εισαγωγή γεωμετρίας, υλικών και λεπτομερειών οπλισμού και ανάλυση κάθε διατομής στο πρόγραμμα BIAX με τις κατάλληλες επιλογές [4]
- Προκαταρκτική Ανάλυση στο Sap2000 για το συνδυασμό φορτίων $G + 0.3Q$ και δυσκαμψίες των στοιχείων ίσες με 0.25 της αντίστοιχης ελαστικής
- Εκτίμηση των αξονικών δυνάμεων των στοιχείων από την προκαταρκτική ανάλυση

- Εισαγωγή στο SAP2000 των τιμών των μειωμένων δυσκαμψιών όπως έχουν καταγραφεί στα αρχεία αποτελεσμάτων του BIAΧ και συναρτήσει της αξονικής δύναμης που φέρει το στοιχείο
- Ιδιομορφική ανάλυση της κατασκευής με τις μειωμένες δυσκαμψίες των στοιχείων, με στόχο να προκύψει η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος T_1 , αλλά και όσες επόμενες απαιτούνται προκειμένου η ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής να είναι τουλάχιστον το 90% της συνολικής, για τη διεύθυνση στην οποία θα γίνει η ανελαστική ανάλυση Pushover
- Ορισμός στο SAP2000 της Pushover σαν νέας φόρτισης, ελεγχόμενης μετακίνησης, με καθορισμό του κόμβου ελέγχου στην κορυφή της κατασκευής και προεπιλογή μιας συγκεκριμένης μέγιστης μετακίνησης του κόμβου αυτού. Σημειώνεται ότι αναλόγως της σύνθεσης του μοντέλου είναι πιθανό να απαιτείται, για τη σύγκλιση της μεθόδου, αύξηση του ελάχιστου και μέγιστου αριθμού βημάτων και άλλων σχετικών με την εκτελούμενη ανάλυση μεγεθών.
- Δήλωση του προφίλ κατανομής της στοχευόμενης μετακίνησης καθ' ύψος της κατασκευής, σε μορφή οριζόντιων στατικών σεισμικών δυνάμεων εφαρμοζόμενων στα κέντρα μάζας των ορόφων. Οι δυνάμεις αυτές υπολογίζονται σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_j^k = \frac{W_k \Phi_j^k}{\sum_{k=1}^n W_k \Phi_j^k} V_{bj} - \frac{W_k \Phi_j^k}{\sum_{k=1}^n W_k \Phi_j^k} S_a(T_j) M \quad (12)$$

στην οποία k είναι ο αύξων αριθμός του ορόφου (n όροφοι συνολικά), j είναι ο αύξων αριθμός της ιδιομορφής, W_k είναι το βάρος του k -στού ορόφου, Φ_{jk} είναι η οριζόντια μετακίνηση του k -στού ορόφου κατά την j -στή ιδιομορφή, $S_a(T_j)$ είναι η επιτάχυνση για ιδιοπερίοδο T_j , με βάση το φάσμα του ΕΑΚ (ΕΚ - 8 κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ.) και M είναι η μάζα του κτιρίου. Εφ' όσον κρίνεται ότι πρέπει να συμμετέχουν και ανώτερες της 1ης ιδιομορφές τότε και αυτών οι τέμνουσες θα πρέπει να καταναμεθούν βάσει της σχέσης (10) και στη συνέχεια να θεωρηθεί η συνδυασμένη συμβολή τους με τον κανόνα SRSS. [5]

- Εκτέλεση της ανάλυσης και εξαγωγή της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής σε όρους τέμνουσας βάσης V - μετακίνησης κορυφής d

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση αποτίμησης ή ανασχεδιασμού κατασκευής με εφαρμογή ανελαστικής στατικής ανάλυσης, η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω συνεχίζεται για την έλεγχο ικανοποίησης των κριτηρίων της στοχευόμενης στάθμης επιτελεστικότητας με βάση όσα σχετικά αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. όπως περιγράφεται παραπάνω. Στα πλαίσια ωστόσο της παρούσας εργασίας, στόχος ήταν η σύγκριση των μεθόδων εμφάνισης πλαισίων, επομένως η καμπύλη ικανότητας για κάθε περίπτωση αρκεί για το σκοπό αυτόν.

6.7 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι για την περίπτωση των εμφανιζόμενων τοιχωμάτων, το προσομοίωμα θεωρεί απόλυτα μονολιθική συμπεριφορά τοιχώματος και πλαισίου, χωρίς να περιλαμβάνει τους μηχανισμούς τριβής, συνοχής και δράσης βλήτρων. Επομένως τα εξαγόμενα αποτελέσματα έχουν ισχύ σε περιπτώσεις εξασφάλισης της πλήρους μονολιθικής συμπεριφοράς τοιχωμάτων - πλαισίων, με την κατάλληλη τοποθέτηση βλήτρων και αγκύρωση του οπλισμού των νέων στοιχείων.

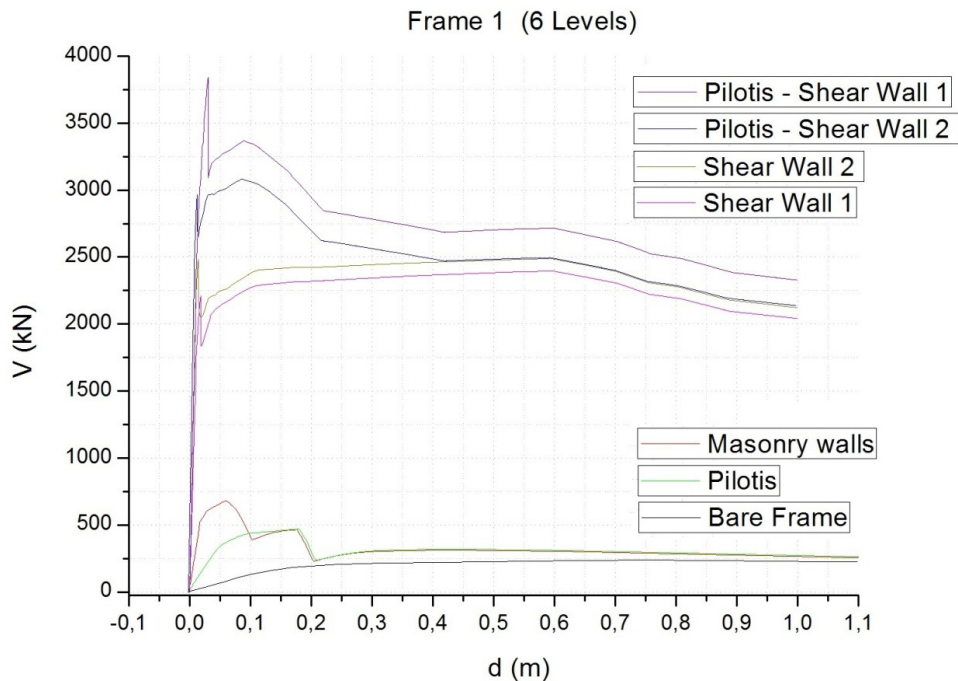
Επιπλέον αναφέρεται επίσης ότι η ανάλυση των ενισχυμένων με μανδύες διατομών υποστρωμάτων με χρήση του προγράμματος BIAΧ λαμβάνει υπόψη μέσω επιλογών του προγράμματος τους επιθυμητούς από το χρήστη συντελεστές μονολιθικότητας, όπως

προτείνει και ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Σχόλια §8.2.1.3.β (ii)). Χρησιμοποιήθηκαν $k_k = 0.8$, $k_r = 0.85$, $k_{\theta y} = 1.25$, $k_{\theta u} = 0.75$.

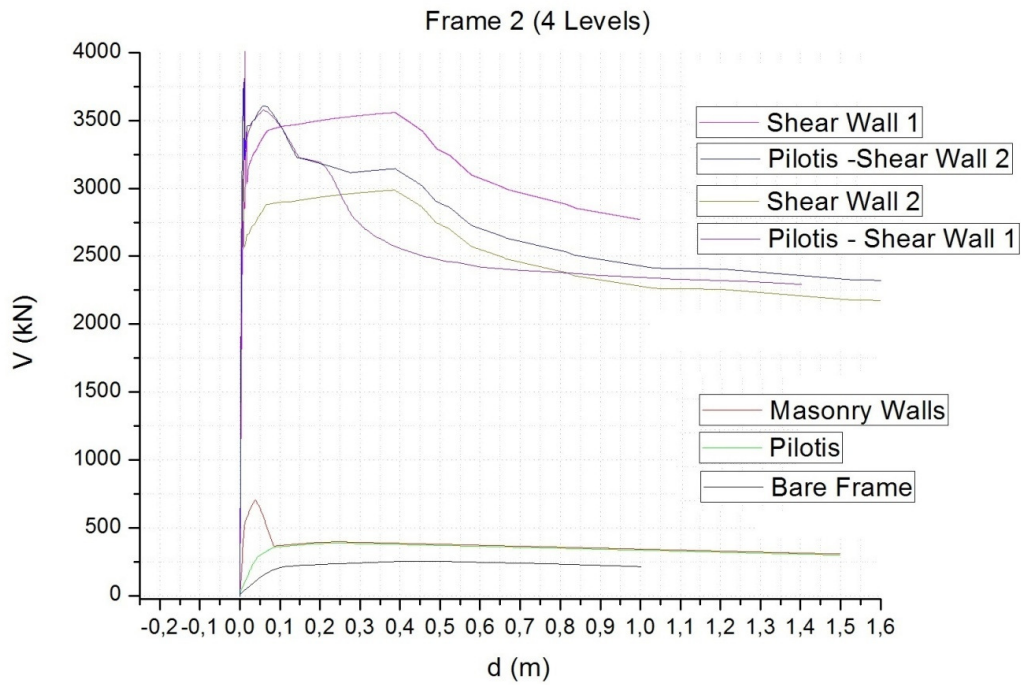
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η διεξαγωγή των ανελαστικών στατικών αναλύσεων Pushover στα πλαίσια που περιγράφονται παραπάνω δίνει τις καμπύλες απόκρισης σε όρους τέμνουσας βάσης – μετατόπισης κορυφής. Προκειμένου να είναι δυνατή η εποπτική παρατήρηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων, οι εξαγόμενες από το πρόγραμμα καμπύλες απόκρισης για κάθε ανάλυση παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα για κάθε πλαίσιο.

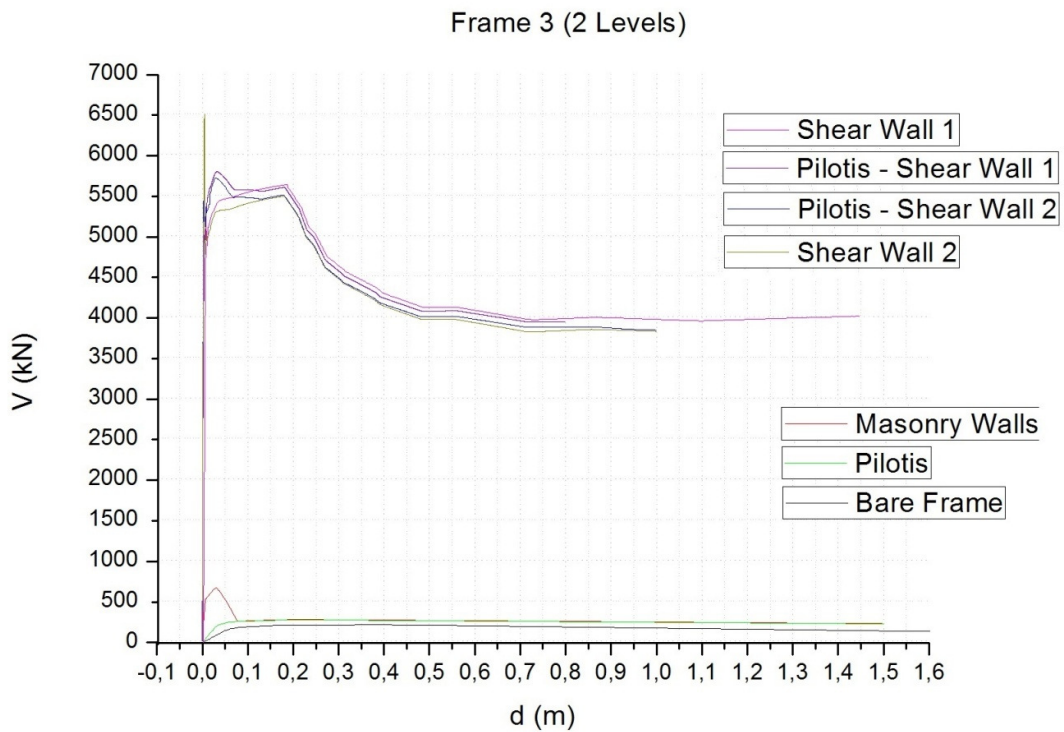
(Σημειώνεται, για την περίπτωση ασπρόμαυρης εκτύπωσης, ότι οι επεξηγήσεις σε κάθε διάγραμμα αντιστοιχούν με τη σειρά στις καμπύλες από πάνω προς τα κάτω, όπως αυτές στοιχίζονται στο μέσον του διαγράμματος, δηλαδή κατά την πτώση της αντοχής).



Σχήμα 11: Καμπύλες απόκρισης σε όρους Τέμνουσας Βάσης - Μετατόπισης Κορυφής (Πλαίσιο 1)

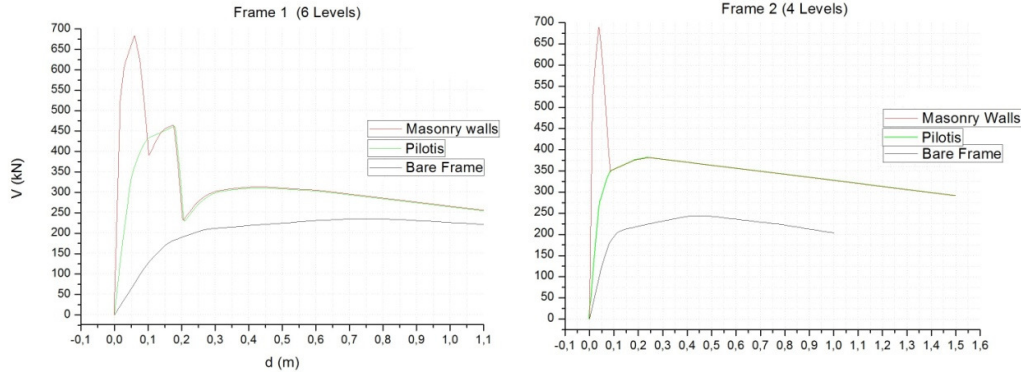


Σχήμα 12: Καμπύλες απόκρισης σε όρους Τέμνουσας Βάσης - Μετατόπισης Κορυφής (Πλαίσιο 2)

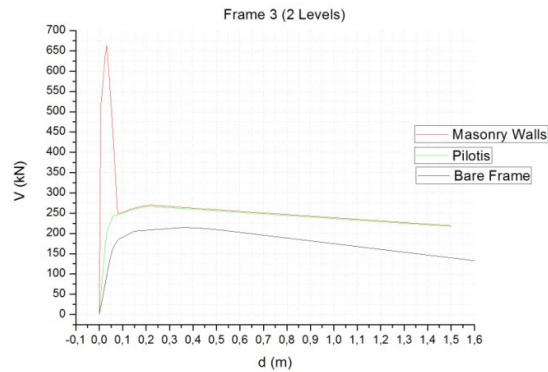


Σχήμα 13: Καμπύλες απόκρισης σε όρους Τέμνουσας Βάσης - Μετατόπισης Κορυφής (Πλαίσιο 3)

Ακόμα παρατίθενται σε ένα κοινό διάγραμμα (Σχήμα 14) οι καμπύλες απόκρισης για το γυμνό, το τοιχοπληρωμένο και το πλαίσιο με πυλωτή, για το εξάωρο πλαίσιο, με στόχο την κατανόηση της συμπεριφοράς των πλαισίων με ανομοιόμορφη καθ' ύψος κατανομή της δυσκαμψίας. Η συμπεριφορά του τετραώροφου και του διώροφου πλαισίου είναι παρόμοια.

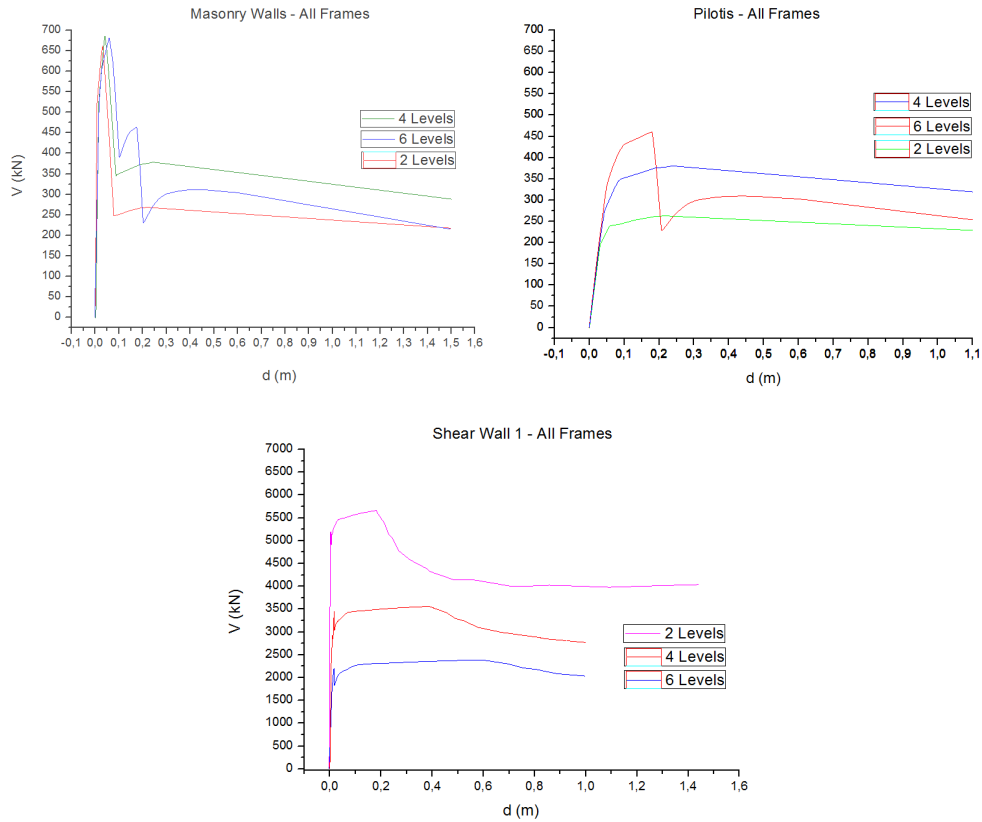


Σχήμα 14: Καμπύλες απόκρισης "γυμνού", πλήρως τοιχοπληρωμένου πλαισίου και πλαισίου Pilotis (Πλαίσια 1, 2)



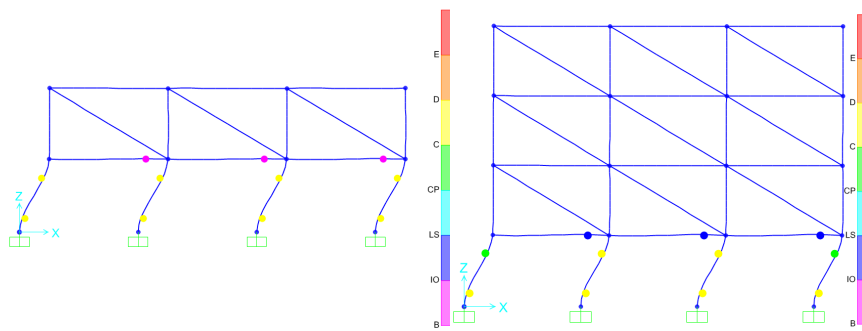
Σχήμα 15: Καμπύλες απόκρισης "γυμνού", πλήρως τοιχοπληρωμένου πλαισίου και πλαισίου Pilotis (Πλαίσιο 3)

Τέλος, για τη μελέτη επίδρασης του αριθμού των ορόφων στα αποτελέσματα κάθε μεθόδου παρατίθενται σε κοινό διάγραμμα οι καμπύλες κάθε πλαισίου για κοινή μέθοδο εμφάνισης.

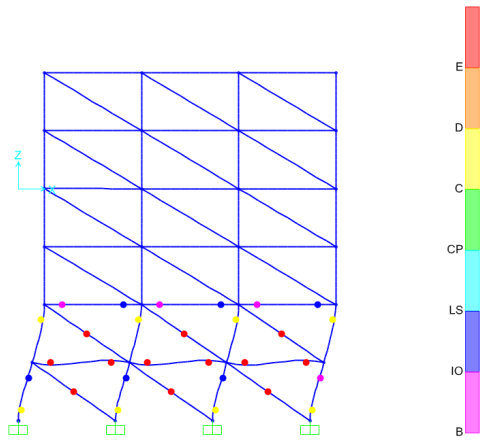


Σχήμα 16: Καμπύλες απόκρισης πλαισίων με τοιχοπληρώσεις, πλαισίων pilotis και πλαισίων με εμφαντούμενο τοίχωμα πάχους $t_1 = 0,20$ m

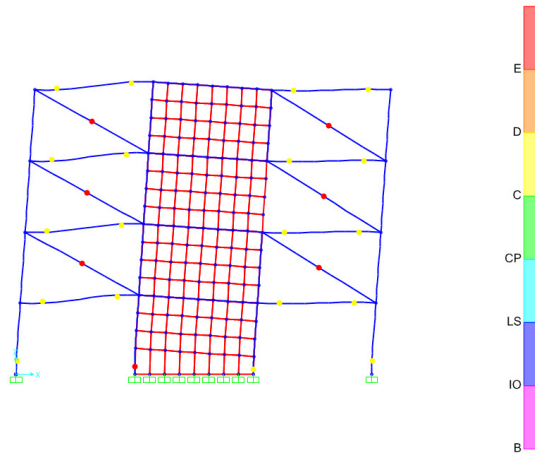
Ακολουθούν εικόνες από το πρόγραμμα SAP2000 με τις παραμορφωμένες δομές των πλαισίων σε διάφορα τμήματα της ανάλυσης. Σχηματίζονται με σημεία χρωματιστών κύκλων οι φάσεις των σχηματιζόμενων πλαστικών αρθρώσεων.



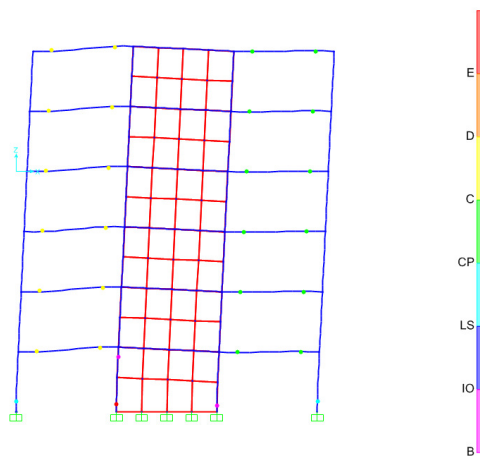
Σχήμα 17: Εικόνες αστοχίας Πλαισίων 3 και 2 με σχηματισμό "μαλακού ορόφου" (Πλαίσια Pilotis)



Σχήμα 18: Εικόνα αστοχίας Πλαισίου 1 (Πλήρως τοιχοπληρωμένο)



Σχήμα 19: Εικόνα αστοχίας Πλαισίου 2 με τοίχωμα πάχους t_1 και απουσία τοιχοπληρώσεων ισογείου (Pilotis)



Σχήμα 20: Εικόνα αστοχίας Πλαισίου 1 με τοίχωμα πάχους t_1

8. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατήρηση και μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων οδηγεί στην εξαγωγή των ακόλουθων συμπερασμάτων:

- Οι τοιχοπληρώσεις προσδίδουν σημαντική αύξηση αντοχής και δυσκαμψίας (κλίση καμπύλης ικανότητας), όσο οι παραμορφώσεις του πλαισίου παραμένουν μικρές, προσδίδοντας βελτιωμένη σεισμική απόκριση (Σχήματα 14 & 15). Για μεγαλύτερες παραμορφώσεις ωστόσο, οι τοιχοπληρώσεις αστοχούν ψαθυρά και παύουν να συνεισφέρουν στην ανάληψη των σεισμικών δράσεων, όπως φαίνεται από την απότομη πτώση της καμπύλης. Η εμφάνιση βλαβών ξεκινά από τις τοιχοπληρώσεις του κατώτατου ορόφου και επεκτείνεται προς τους ανώτερους ορόφους. Κατόπιν, η συμπεριφορά του τοιχοπληρωμένου πλαισίου είναι πανομοιότυπη με αυτή του γυμνού, με τις καμπύλες να ταυτίζονται, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στα Σχήματα 14 και 15.
- Η εφαρμογή της μεθόδου της τοιχοματοποίησης πλαισίων προσδίδει ιδιαίτερα αυξημένη αντοχή και δυσκαμψία, πολλαπλάσια της αρχικής, με τιμές της μέγιστης τέμνουσας βάσης να φτάνουν έως και 1000% της αρχικής (Σχήματα 11 έως 13). Επιπλέον, το τοίχωμα λόγω της πολύ μεγάλης δυσκαμψίας του παραλαμβάνει το σύνολο σχεδόν της διατμητικής καταπόνησης, προστατεύοντας τα μη ενισχυμένα υποστρώματα, τα οποία πλέον εμφανίζουν σημαντικά μικρότερη φθορά στις βάσεις τους σε σύγκριση με την περίπτωση απουσίας τοιχώματος (Σχήμα 20). Ωστόσο η πλαστιμότητα του φορέα έχει πλέον ελαττωθεί πολύ και η αστοχία είναι κατά βάση ψαθυρή, με πρώτη να εμφανίζεται στις βάσεις των εν επαφή με το τοίχωμα υποστρωμάτων
- Τα πλαίσια τύπου pilotis εμφανίζουν χαρακτηριστική αδυναμία έναντι των πλήρως τοιχοπληρωμένων πλαισίων, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και από τις εικόνες παραμόρφωσης (Σχήμα 17). Λόγω ανομοιομορφίας κατανομής δυσκαμψίας καθ' ύψος του κτηρίου, οι μετακινήσεις συγκεντρώνονται στον πιο εύκαμπτο όροφο, με αποτέλεσμα την ιδιαίτερα μεγάλη καταπόνησή του και ακολούθως την αστοχία του, η οποία υποβοηθείται σημαντικά από δευτερογενείς ροπές που όμως δεν έχουν ληφθεί υπόψη στην παρούσα εργασία. Έχουμε έτσι σχηματισμό "μαλακού ορόφου". Επιπλέον, όπως φαίνεται στα Σχήματα 14 και 15, το τοιχοπληρωμένο πλαίσιο διαθέτει αρχικά μεγαλύτερη αντοχή και δυσκαμψία (κλίση καμπύλης) συγκριτικά με το πλαίσιο με πυλωτή. Όσο οι μετακινήσεις αυξάνονται, σταδιακά επέρχεται αστοχία των τοιχοπληρώσεων από κάτω προς τα πάνω (Σχήμα 18), ενώ για μεγαλύτερες μετακινήσεις οι τοιχοπληρώσεις αστοχούν με αποτέλεσμα να μην συνεισφέρουν στην απόκριση του πλαισίου.
- Οι διαφορές μεταξύ της επίδρασης των τοιχωμάτων διαφορετικού πάχους δεν είναι ξεκάθαρες στα παραπάνω αποτελέσματα, ωστόσο η συμβολή τους είναι παρόμοια. Στο Πλαίσιο 1, η αντοχή του τοιχώματος 2 (παχύτερο) είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του τοιχώματος 1 χωρίς συνυπολογισμό τοιχοπληρώσεων, ενώ στην αντίστοιχη περίπτωση pilotis, το τοίχωμα 2 έχει μικρότερη αντοχή από το τοίχωμα 1. Γενικά το αναμενόμενο αποτέλεσμα θα ήταν το τοίχωμα μεγαλύτερου πάχους να προσδίδει μεγαλύτερη δυσκαμψία στον φορέα και πιθανώς μεγαλύτερη αντοχή. Ωστόσο, στην περίπτωσή μας ο οπλισμός των τοιχωμάτων ήταν κοινός, όπως και οι ενισχύσεις των εκατέρωθεν υποστρωμάτων με μανδύες, γεγονός που μπορεί να σχετίζεται με τις παραπάνω παρατηρήσεις.
- Σχετικά με την επίδραση του αριθμού των ορόφων, παρατηρούμε ότι στις περιπτώσεις κτηρίων pilotis, η μείωση της αντοχής συγκριτικά με τα πλήρως τοιχοπληρωμένα είναι μεγαλύτερη για τα χαμηλότερα κτίρια και μικρότερη για τα

ψηλότερα (34% για το εξαώροφο, 45% για το τετραώροφο, 60% για το διώροφο). Επομένως, τα χαμηλότερα κτήρια pilotis υποφέρουν περισσότερο σε σύγκριση με τα ψηλότερα. Αναφορικά με την περίπτωση τοιχοματοποίησης, παρατηρείται ότι τα χαμηλότερα πλαίσια πλεονεκτούν σε αντοχή και δυσκαμψία για τον ίδιο τύπο ενίσχυσης, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 16.

- Η κατανομή των βλαβών στο φορέα διαφοροποιείται αναλόγως της μεθόδου ενίσχυσης που εφαρμόζεται. Σε γενικές γραμμές οι βλάβες ξεκινούν από τα χαμηλότερα επίπεδα και προχωρούν προς τα ψηλότερα όσο αυξάνονται οι μετατοπίσεις. Όταν η καθ' ύψος κατανομή της δυσκαμψίας είναι ομοιόμορφη (πλήρως τοιχοπληρωμένο πλαίσιο ή εμφανιζόμενο τοίχωμα), οι βλάβες επεκτείνονται ομοιόμορφα με σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων σε μεγαλύτερο μέρος του φορέα (Σχήματα 19 και 20). Αντιθέτως σε περιπτώσεις ανομοιομορφίας (πχ. κτίρια pilotis) οι βλάβες συγκεντρώνονται στο εύκαμπτο τμήμα του φορέα με αποτέλεσμα την εντονότερη καταπόνησή του και την πρόωρη αστοχία με σχηματισμό "μαλακού ορόφου" (Σχήμα 17). Στις περιπτώσεις των τοιχωμάτων, οι βλάβες διαμοιράζονται στις δοκούς του πλαισίου καθ' όλο το ύψος της κατασκευής καθώς και στις βάσεις των υποστυλωμάτων που περιβάλλουν το τοίχωμα, ενώ τα λοιπά υποστυλώματα δέχονται πολύ μικρότερη καταπόνηση και σχηματίζουν περιορισμένες βλάβες στις βάσεις τους σε σύγκριση με την περίπτωση απουσίας τοιχωμάτων (Σχήματα 18 και 19)

Συνοψίζοντας, η μέθοδος εμφάντωσης με τοιχοματοποίηση προσφέρεται όταν στόχος της ενίσχυσης είναι η σημαντική αύξηση της αντοχής και δυσκαμψίας ενός φορέα, με ταυτόχρονη όμως μείωση της πλαστιμότητάς του και αύξηση των καταπονήσεων που δέχεται (αναλογικά της αύξησης της δυσκαμψίας), γεγονός που οδηγεί στην πιθανή ανάγκη ενίσχυσης των στοιχείων που συντρέχουν με το τοίχωμα (δοκοί - εκατέρωθεν υποστυλώματα).

Η μέθοδος του απλού γεμίσματος με τοιχοπλήρωση συνδέεται με αύξηση αντοχής μιας τάξης μεγέθους μικρότερης σε σύγκριση με αυτή του τοιχώματος αλλά σημαντικής σε σύγκριση με την απουσία γεμίσματος και μάλιστα χωρίς να οδηγείται ο φορέας σε τύπους ψαθυρής αστοχίας. Η υπεραντοχή που προσφέρουν είναι σημαντική αλλά περιορίζεται σε χαμηλές τιμές παραμορφώσεων του φορέα.

Ο ρόλος των τοιχοπληρώσεων είναι γενικότερα σημαντικός, γεγονός που σημαίνει ότι είναι απαραίτητο σε περιπτώσεις αποτίμησης - ανασχεδιασμού οι υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις να ληφθούν υπόψη τόσο για τον ευεργετικό όσο και για τον πιθανό δυσμενή τους ρόλο.

Τέλος, κάθε μορφή ενίσχυσης πρέπει να μελετάται με μεγάλη προσοχή και με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε φορέα, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις αλλαγές που προκαλούνται στην κατανομή δυνάμεων και παραμορφώσεων, λαμβάνοντας μέτρα για την προστασία των στοιχείων και με σωστό ανασχεδιασμό της θεμελίωσης, για παράδειγμα σε περιπτώσεις κατασκευής νέων στοιχείων όπως τα εμφανιζόμενα τοιχώματα [2].

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΚΑΝ. ΕΠΕ. 2013 - Κανονισμός Επεμβάσεων
- [2] Δρίτσος Σ., "Ενισχύσεις - Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου σκυροδέματος", Σημειώσεις Μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2011
- [3] Sap2000 v.15 - Manual
- [4] Μ. Γ. Σφακιανάκης, BIAx - Manual

- [5] Μ. Γ. Σφακιανάκης, "Αναλύσεις Τύπου Pushover με τα προγράμματα CSi SAP2000, ETABS και BIAx", Σημειώσεις μαθήματος Μη Γραμμική Ανάλυση Κατασκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών
- [6] Sfakianakis, M.G., "Biaxial Bending with Axial Force of Reinforced, Composite and Repaired Concrete Sections of Arbitrary Shape by Fiber Model and Computer Graphics", Journal of Advances in Engineering Software 2001, Vol. 33(4), pp. 227-242
- [7] Sfakianakis, M.G., "Computation of Yield and Failure Surfaces for Biaxial Bending with Axial Force of Reinforced Concrete Sections with Jackets Jackets", ,15th WCEE, Lisbon, Portugal, Sept. 24-28, 2012, CD-ROM proc
- [8] Χουτόπουλος Π., Χουτοπούλου Ε., "Τοιχωματοποίηση Πλαισίων - ΚΑΝ. ΕΠΕ.", 19ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών - Αφιέρωμα στον ΚΑΝ. ΕΠΕ., Πάτρα, Φεβρουάριος 2013
- [9] Κόκκινος Νικόλαος, Τσιριγωτάκης Σταύρος, "Ενίσχυση Υφιστάμενων Κατασκευών με τη Μέθοδο των Εμφατνούμενων Τοιχωμάτων", 17ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα, Φεβρουάριος 2011
- [10] <http://lhlogismiki.gr> (Λήψη φωτογραφικού υλικού)
- [11] Δρίτσος Σ., "Αποτίμηση και Ανασχεδιασμός Υφιστάμενων Κατασκευών Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. - Ο ΚΑΝ. ΕΠΕ. 2012 στα πλαίσια των Ευρωκωδίκων - Οι αλλαγές", Παρουσίαση, Επιμορφωτικό Σεμινάριο, Αθήνα 3/6/2013